

большую электрическую прочность по сравнению с МДПДМ структурой при упрощенной технологии изготовления и практическом сохранении максимальной яркости; 2) крутизна ВЯХ МДПКМ структур меньше крутизны ВЯХ МДПДМ структуры, зависит от вида наполнителя композиционного жидкого диэлектрика и возрастает с уменьшением толщины слоя этого диэлектрика; 3) с уменьшением концентрации наполнителя в исследованных пределах возрастает максимальная яркость; 4) время нарастания и спада яркости МДПКМ структуры меньше чем МДПДМ структуры.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Сапо У., Нипомура К., Коуама Н. е.а. // Conf. Rec. Int. Display Res. Conf. San-Diego, Calif. Oct. 15-17. 1985. N.-Y. P. 173-176.
- [2] Рахлин М.Я., Родионов В.Е. // Письма ЖТФ. 1988. Т. 14. В. 23. С. 2144-2147.

Поступило в Редакцию
20 июля 1990 г.

Письма в ЖТФ, том 16, вып. 23 12 декабря 1990 г.

09

© 1990

О САМОФОКУСИРОВКЕ СВЧ ИЗЛУЧЕНИЯ В ВОЗДУХЕ

В.П. Григорьев, А.Н. Диденко,
А.Г. Жерлицын, С.И. Кузнецов,
В.И. Цветков

Одной из основных проблем электроники больших мощностей является передача на расстояние потоков электромагнитной энергии большой плотности. Ранее в работах [1-4] теоретически была показана возможность самофокусировки и самоканализации потоков электромагнитных волн в плазме.

Нами наблюдалась экспериментально самофокусировка электромагнитного излучения десятисантиметрового диапазона длин волн при исследовании формирования потока СВЧ излучения мощностью 10^8 - 10^9 Вт в воздухе. В данной работе приводятся первые результаты этих исследований.

Схема эксперимента представлена рис. 1. Эксперименты проводились на сильноточной установке при напряжении $U=600$ кВ, токе $I=20$ кА, длительности импульса $\tau=110$ нс. Источником электромагнитного излучения являлся триод с виртуальным катодом [5]. С целью увеличения плотности СВЧ мощности осуществ-

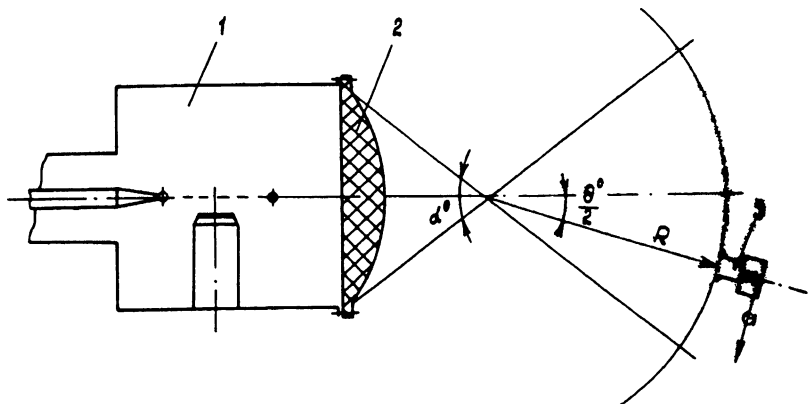


Рис. 1. Схема эксперимента. 1 - триод с виртуальным катодом, 2 - диэлектрическая линза, 3 - приемник СВЧ излучения.

лялась предварительная фокусировка излучения. Для этого на выходе триода устанавливалась диэлектрическая линза с углом раскрыва $\alpha_0 = 44^\circ$, фокусным расстоянием - 45 см. При этом средняя плотность СВЧ мощности в области фокуса увеличивалась более чем в 100 раз и достигала $3 \cdot 10^6$ Вт/см² на длине волны излучения $\lambda = 8,3$ см. За фокусом линзы проводились измерения диаграммы направленности СВЧ излучения (ДН). Прием излучения осуществлялся на открытый конец волновода сечением 72×34 мм², который располагался на расстоянии $l = 135$ см и $l = 225$ см от фокуса линзы.

Измерения ДН показали следующее. Диаграмма направленности излучения зависит от уровня плотности СВЧ мощности ρ и может иметь угол θ° на половинном уровне мощности значительно меньше, чем угол раскрыва линзы. Так, например, при уровне плотности СВЧ мощности в фокусе $\rho = 3 \cdot 10^6$ Вт/см² ширина ДН на половинном уровне мощности не превышала 6° . При этом плотность мощности на оси линзы, как на расстоянии $l = 135$ см, так и на расстоянии $l = 225$ см, была не меньше $4 \cdot 10^3$ Вт/см². На рис. 2 показана ДН излучения при работе триода с линзой с плотностью мощности $\rho = 3 \cdot 10^6$ Вт/см² (кривая 1), $\rho = 5 \cdot 10^5$ Вт/см² (кривая 2), $\rho = (3-5) \cdot 10^4$ Вт/см² (кривая 3). Здесь же для сравнения приведена ДН при работе триода без линзы с максимальной плотностью мощности $\rho = 3 \cdot 10^4$ Вт/см² (кривая 4). Во всех случаях длина волны излучения равна $\lambda = 8,3$ см, излучение имело линейную поляризацию. Из рисунка видно, что ширина ДН уменьшается с увеличением плотности СВЧ мощности. При малых уровнях мощности $\rho < 10^5$ Вт/см² угол на половинном уровне мощности близок к углу раскрыва линзы (кривая 3).

Рассмотрим полученные результаты с точки зрения возможности самофокусировки электромагнитного поля. Необходимым условием для

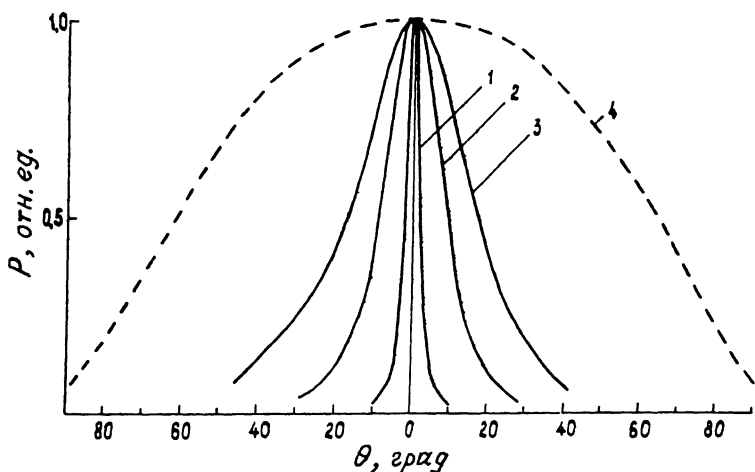


Рис. 2. Диаграмма направленности излучения в зависимости от плотности мощности в фокусе линзы. 1 - $\rho = 3 \cdot 10^6$ Вт/см², 2 - $\rho = 5 \cdot 10^5$ Вт/см², 3 - $\rho = (3-5) \cdot 10^4$ Вт/см²; 4 - $\rho = 3 \cdot 10^4$ Вт/см² (без линзы).

осуществления самофокусировки является образование плазменного канала. Такой канал может быть образован микроволновым излучением уже при плотности мощности $\sim 10^5 - 10^6$ Вт/см² [6]. Кроме того, вклад в процесс ионизации воздуха в нашем эксперименте дает тормозное излучение, проникающее из камеры через линзу в область распространения СВЧ излучения. Оценки показывают, что при осуществлении предварительной фокусировки СВЧ излучения линзой и получении в фокусе плотности мощности $\rho > 2.5 \cdot 10^5$ Вт/см² в плазменном канале может быть достигнута плотность $n_e > 10^{12}$ см⁻³. При этом в рассматриваемой области давлений (~ 760 Тор) доминируют столкновения электронов с нейтралами и для приведенных параметров выполняется $\omega = (2\pi \frac{c}{\lambda}) < \nu_{ea}$. Частота столкновений электронов с нейтралами - ν_{ea} и для $T_e \sim 0.5-1$ эВ $\nu_{ea} \sim (1.7-3) \cdot 10^{11}$ с⁻¹.

В этих условиях наиболее вероятным нелинейным взаимодействием является механизм взаимолокализующего действия плазмы и поля [3], который проявляется при высоких значениях комплексной проницаемости плазмы

$$\epsilon = -i \frac{4\pi e^2 n_e}{m\omega \nu_{ea}}$$

Выбирая за масштаб длины период поля и учитывая в области фокуса линзы $E_z/E_r \sim \tan(\alpha/2)$ аналогично [3] можно получить формулу для оценки R - радиуса канала фокусировки: $\lambda/R \sim (1/2) |\epsilon| \tan \alpha$. Отсюда следует, что для экспериментальных параметров $R \sim \lambda/2$ такую фокусировку можно осуществить для $|\epsilon| \sim 9-10$, что достигается при $n_e \sim 10^{13}$ см⁻³. Следует отметить, что эффекты, связанные с нагревом электронов полем волны, также способствуют прохождению сильных волн $E \gg E_p$ ($E_p \sim 1$ кВ/см) с частотой $\omega < \nu_{ea}$ через слабоионизованную плазму [4].

Используя зависимости $R(l, |\mathcal{E}|)$, можно качественно объяснить поведение кривых на рис. 2. Действительно, при предварительной фокусировке волн линзой до высокой плотности мощности $\geq 10^5$ Вт/см², мы можем получить плазменный канал, в котором самофокусировка осуществляется достаточно эффективно (кривая 1). С понижением плотности мощности микроволнового излучения ($p \sim 6 \cdot 10^4$ Вт/см²) плотность образуемого плазменного канала и $|\mathcal{E}|$ понижаются, в результате чего поперечный размер канала фокусировки растет (кривая 2). При дальнейшем понижении плотности мощности излучения плазменный канал может не образовываться, либо ионизация будет такой низкой, что будет выполняться $|\mathcal{E}| < 1$. В этом случае самофокусировка отсутствует и электромагнитное излучение, сфокусированное линзой, за фокусом расходится (кривая 3).

Таким образом, экспериментально показано, что при плотностях мощностей СВЧ излучения $p > 10^5$ Вт/см² в десятисантиметровом диапазоне длин волн в воздухе возможно возникновение эффекта самофокусировки СВЧ излучения, приводящей к формированию луча с малой шириной диаграммы направленности излучения.

С л и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] А с к а р ь я н Г.А. // ЖЭТФ. 1962. Т. 42. В. 6. С. 1567-1570.
- [2] Л и т в а к А.Г. Вопросы теории плазмы. М.: Атомиздат, 1980. В. 10. С. 164-242.
- [3] Г и л ь д е н б у р г В.Б., М а р к о в Г.А. // Письма в ЖТФ. 1982. Т. 8. В. 20. С. 1245-1248.
- [4] Г у р е в и ч А.В., Ш в а р ц б у р г А.Б. Нелинейная теория распространения радиоволн в ионосфере. М.: Наука; ГРФМЛ, 1973. № 7. С. 85.
- [5] Д и д е н к о А.Н., А р з и н А.П., Ж е р л и ц ы н А.Г., М е л ь н и к о в Г.В., С у л а к ш и н А.С., Ф и л и п е н к о Н.М., Ф о м е н к о Г.П., Ш т е й н Ю.Г. Релятивистская высокочастотная электроника. Горький: ИПФ. 1984. В. 4. С. 104-118.
- [6] F l o r i n g Н.К. // IEEE Spectrum. 1988. N 3. P. 50-54.

Научно-исследовательский институт
ядерной физики при Томском
политехническом институте
им. С.М. Кирова

Поступило в Редакцию
3 августа 1989 г.
В окончательной редакции
с 15 мая 1990 г.